

## Beschreibung

Verfahren und Steuervorrichtung zum Betrieb einer Walzstraße für Metallband

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1; eine Anwendung eignet sich insbesondere für den Betrieb in einem Warmwalzwerk, z.B. in der Fertigstraße, ist jedoch nicht darauf beschränkt.

10

Des weiteren betrifft die Erfindung eine Steuervorrichtung gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 10.

Aus der Deutschen Offenlegungsschrift **DE 198 51 554 A1** ist es bekannt, das Profil und/oder die Planheit eines Metallbandes beim Auslaufen aus einer Walzstraße zu ermitteln und zur Voreinstellung einer Walzstraße zu verwenden. Die gemessene sichtbare Planheit wird hier einem neuronalen Netz in Form von Eingangsparametern zugeführt.

20

Es ist Aufgabe der Erfindung, eine Walzstraße für Metallband derart zu betreiben, dass eine Steuerung bereitgestellt wird, die gewährleistet, dass eine geforderte sichtbare Planheit des gewalzten Metallbandes innerhalb vorgegebener Schranken zuverlässig und mit hinreichender Genauigkeit eingehalten wird.

Die Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren der eingangs genannten Art, wobei bei der Steuerung der Walzgerüste die sichtbare Planheit und eine intrinsische Planheit des Metallbandes unter Verwendung eines Beulmodells berücksichtigt werden.

Durch die erfindungsgemäß mit Hilfe des Beulmodells mögliche Berücksichtigung sowohl der sichtbaren Planheit der Walzstrasse als auch der intrinsischen Planheit können äußerst hohe Anforderungen hinsichtlich der Güte der sichtbaren Plan-

heit des Metallbandes erfüllt werden, obwohl die sichtbare Planheit bzw. Welligkeit des Metallbandes beim Walzen unter Zug, also zwischen den Walzgerüsten, mitunter völlig verschwindet und somit innerhalb der Walzstrasse in vielen Fällen praktisch nicht messbar ist.

Mittels des Beulmodells wird erstmalig ein eineindeutiger Zusammenhang zwischen intrinsischer und sichtbarer Planheit des Metallbandes hergestellt. Somit wird es erstmals möglich, nicht nur eine Voreinstellung auf Grundlage von Planheitsmessungen vorzunehmen, sondern die sichtbare Planheit zu einer genauen Steuerung bzw. Regelung des laufenden Walzvorgangs zu verwenden.

Mit Vorteil wird die sichtbare Planheit in Form eines Beulmusters ermittelt. Das Beulmuster ist datentechnisch leicht vergleichbar und mit verhältnismäßig geringem Aufwand speicherbar.

Mit Vorteil ist das Beulmuster dreidimensional.

Mit Vorteil wird zur Ermittlung des Beulmusters des Metallbandes neben der relativen Länge einzelner Spuren des Metallbandes mindestens eine der Größen Wellenlänge, Amplitude und Phasenversatz der einzelnen Spuren ausgewertet. Das Beulmuster kann so wesentlich genauer erfasst werden.

Mit Vorteil wird zur Ermittlung des Beulmusters ein Mehrspur-Laser-Messgerät verwendet, was eine kostengünstige Erfassung des Beulmusters bei ausreichend hoher Präzision ermöglicht.

Mit Vorteil wird die sichtbare Planheit topometrisch gemessen. Derart wird eine flächenhafte Erfassung der Bandoberflächenstruktur und insbesondere des Beulmusters direkt möglich.

Mit Vorteil werden mittels des Beulmodells Werte für die sichtbare Planheit in Werte für die intrinsische Planheit

bzw. Werte für die intrinsische Planheit in Werte für die sichtbare Planheit übersetzt. Derart können mittels eines Materialflussmodells berechnete intrinsische Bandplanheiten und am Auslauf einer Walzstraße gemessene sichtbare Bandplanheiten an einander angepasst bzw. verifiziert werden.

Mit Vorteil erfolgt die Übersetzung der Planheiten online. Derart wird eine besonders exakte Steuerung bzw. Regelung der Bandplanheit ermöglicht.

10

Mit Vorteil erfolgt die Übersetzung der Planheiten unter Zuhilfenahme einer on-line-fähigen Approximationsfunktion. Derart kann On-line-Rechenzeit bei der Übersetzung zwischen sichtbarer und intrinsischer Planheit eingespart werden.

15

Mit Vorteil wird ausgehend von der intrinsischen Planheit des Metallbandes dessen Beulmuster mittels des Beulmodells durch Aufbringen einer fiktiven Temperaturverteilung in Querrichtung des Metallbandes modelliert. Die dieser Bandtemperaturverteilung entsprechende thermische Ausdehnung in Bandlängsrichtung, nicht aber in Querrichtung, entspricht einer der intrinsischen Planheit zuordenbaren Längenverteilung. Derart muss lediglich ein Segment begrenzter Länge modelliert werden und es können die Modellgleichungen der elastischen Plattenverformungen mit großen Auslenkungen mit geeigneten Randbedingungen an den Segmentkanten aufgestellt werden.

Mit Vorteil wird mittels eines Materialflussmodells eine intrinsische Planheit des Metallbandes - in Materialflussrichtung gesehen - vor einem physikalischen Messort der Planheit bestimmt.

Mit Vorteil werden zur Steuerung der Walzstraße ein oder mehrere Planheitsgrenzwerte an frei wählbaren Punkten innerhalb und/oder nach der Walzstraße vorgegeben. Die Planheitsgrenzwerte können sich auf die intrinsische Planheit und/oder die sichtbare Planheit beziehen. Dadurch, dass Plan-

heitsgrenzwerte überall innerhalb bzw. nach der Walzstraße vorgegeben werden können, können Regelgenauigkeiten für den Walzprozess wesentlich erhöht werden.

- 5 Die Aufgabe wird auch gelöst durch eine Steuervorrichtung zum Betrieb einer Walzstraße für Metallband mit mindestens einem Walzgerüst, insbesondere gemäß dem zuvor beschriebenen Verfahren, wobei die Steuervorrichtung mindestens eine Regelungseinheit aufweist, die mit einem Beulmodell gekoppelt  
10 ist. Vorteilhafte Ausbildungen der Steuervorrichtung sind in Unteransprüchen angegeben. Die Vorteile der Steuervorrichtung ergeben sich analog zu denen des Verfahrens.

Weitere Vorteile und Einzelheiten ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels in Verbindung mit den Figuren. Dabei zeigen:

15

FIG 1 eine mehrgerüstige Walzstraße zum Walzen von Metallband und eine der Walzstraße zugeordnete Steuervorrichtung,  
20

FIG 2a-2c Beispiele für Metallbänder mit Planheitsfehlern,

FIG 3 die Untergliederung eines Metallbandes in Spuren,  
25

FIG 4 einen Ausschnitt einer mehrgerüstigen Walzstraße mit Steuervorrichtung,

FIG 5 die Geometrie eines Abschnitts eines Metallbandes.  
30

Gemäß **Figur 1** wird eine Walzstraße zum Walzen eines Metallbandes 1 von einem Steuerrechner 2 gesteuert. Das Metallband 1 kann beispielsweise ein Stahlband, ein Aluminiumband oder ein Buntmetallband, insbesondere ein Kupferband, sein. Die  
35 Walzstraße weist mindestens zwei Walzgerüste 3 auf.

Die Walzgerüste 3 weisen zumindest Arbeitswalzen 4 und - wie in Figur 1 für eines der Walzgerüste 3 angedeutet - in der Regel auch Stützwalzen 5 auf. Die Walzgerüste 3 könnten auch noch mehr Walzen aufweisen, beispielsweise axial verschiebbare Zwischenwalzen.

Das Metallband 1 durchläuft die Walzstraße in seiner Längsrichtung x, wobei die Querrichtung y des Metallbandes 1 weitestgehend parallel zu den Achsen der Arbeitswalzen 4 ist.

10

Die in Figur 1 gezeigte Walzstraße ist als Fertigstraße zum Warmwalzen von Stahlband ausgebildet. Die vorliegende Erfindung ist zwar besonders für die Anwendung bei einer mehrgerüstigen Fertigstraße zum Warmwalzen von Stahlband geeignet, jedoch nicht darauf beschränkt, insbesondere könnte die Walzstraße auch als Kaltwalzstraße (Tandemstraße) ausgebildet sein und/oder zum Walzen eines Nicht-Eisen-Metalls (z.B. Aluminium, Kupfer oder ein anderes Buntmetall) ausgebildet sein.

Die Steuervorrichtung 2 weist eine Regelungseinheit 11 auf. Diese weist ihrerseits ein Modul 10 zur Profil- und Planheitssteuerung auf, das mit einem Materialflussmodell 9 gekoppelt ist. Die Steuervorrichtung 2 gibt Gerüstreglern 6 Sollwerte für nicht näher dargestellte Profil- und Planheitsstellglieder vor. Die Gerüstregler 6 stellen die Stellglieder dann entsprechend den vorgegebenen Sollwerten ein.

Die der Steuervorrichtung 2 zugeführten Eingangsgrößen umfassen beispielsweise Stichplandaten wie eine Eingangsdicke des Metallbandes 1 sowie für jedes Walzgerüst 3 eine Walzkraft und eine Stichabnahme. Die Eingangsgrößen umfassen in der Regel ferner eine Enddicke, einen Sollprofilwert, einen Soll-Dickenkontur- und einen Soll-Planheitsverlauf des Metallbandes 1 am Auslauf der Walzstraße. Meist soll das gewalzte Metallband 1 so plan wie möglich sein.

Oft weist das Metallband 1 jedoch Planheitsfehler auf, wie sie in den Figuren 2a, 2b und 2c beispielhaft und schematisch dargestellt sind. Planheitsfehler des Metallbandes 1 können an einem Ort  $x_2$ , wie in Figur 1 angedeutet, beispielsweise  
5 mittels eines Mehrspur-Laser-Messgeräts 13 gemessen werden.

**Figur 2a** zeigt eine zentrische Ausbeulung des Metallbands 1. **Figur 2b** zeigt Planheitsfehler an den Rändern des Metallbandes 1. **Figur 2c** zeigt Ausbeulungen des Metallbandes 1, die in  
10 Längsrichtung  $x$  des Metallbandes 1 wiederholt auftreten, und zwar insbesondere in zwei Bereichen in Querrichtung  $y$  des Metallbandes 1.

Das Beulen des Metallbandes 1 wird insbesondere durch innere  
15 Spannungen im Metallband 1 verursacht. Innere Spannungen im Metallband 1 werden auch als intrinsische Bandplanheit  $ip$  bezeichnet.

**Figur 3** zeigt die Einteilung eines Metallbandes 1 in fiktive  
20 Spuren  $S_1$  bis  $S_n$  bzw. in Mess-Spuren  $S_1'$  bis  $S_m'$ . Würde man das Metallband 1 in schmale Längsstreifen bzw. in Spuren  $S_1$  bis  $S_n$  zerschneiden, so könnte man dabei eine ungleiche Bandlängenverteilung (die intrinsische Bandlängenverteilung) messen, die ursächlich für die inneren Spannungen im Metallband  
25 1 ist. Das Mehrspur-Laser-Messgerät 13 erfasst die relative Länge des Metallbandes 1 pro Mess-Spur  $S_1'$  bis  $S_m'$  und ermittelt vorzugsweise zusätzlich Größen wie beispielsweise die Wellenlänge, Amplitude und/oder den Phasenversatz der einzelnen Spuren  $S_1'$  bis  $S_m'$ . Entscheidend ist, dass für überein-  
30 stimmende fiktive Spuren  $S_1$  bis  $S_n$  und Mess-Spuren  $S_1'$  bis  $S_m'$  die zugehörigen intrinsischen bzw. gemessenen relativen Längen nicht übereinstimmen.

Wie auch aus Figur 4 hervorgeht, wird beim Warmwalzen von Me-  
35 tallband 1 zwischen intrinsischer Bandplanheit  $ip$  und sichtbarer Bandplanheit  $vp$  unterschieden. Die intrinsische Bandplanheit  $ip$  bezeichnet, wie vorangehend ausgeführt, die

Bandlängenverteilung über die Spuren S1 bis Sn. Die sichtbare Planheit vp ergibt sich aus dem Beulverhalten des Bandes, das unter anderem abhängig ist von Größen wie der Banddicke, der Bandbreite, dem E-Modul des Metallbandes 1 sowie dem Gesamtzug, unter dem sich das Metallband 1 befindet.

Gemäß **Figur 4** wird die sichtbare Planheit vp an einem Ort x2 am Auslauf der Walzstraße, insbesondere eine Fertigstraße, gemessen und einem Beulmodell 12 zugeführt. Die Messung der sichtbaren Planheit vp erfolgt erfindungsgemäß derart, dass nicht nur die sichtbare Bandlängen-Verteilung über die Bandbreite in Querrichtung y Ausgabegröße einer Messeinrichtung ist, sondern aus den Messeinrichtungs-Ausgabegrößen das dreidimensionale Beulmuster des Bandes rekonstruierbar ist. Bei einem Mehrspur-Lasermesssystem wird dementsprechend nicht nur die (relative) Länge der einzelnen Mess-Spuren S1' bis Sm', sondern auch Wellenlänge und Phasenversatz für jede Spur S1' bis Sm' von der Messeinrichtung ausgegeben. Bei einer topometrischen Messung der sichtbaren Planheit vp wird die Oberflächenstruktur des Metallbandes 1 flächenhaft und dreidimensional über große Bereiche des Metallbandes 1 erfasst. Eine topometrische Bandplanheitsmessung beruht vorzugsweise auf einem Streifen-Projektions-Verfahren. Dabei werden Streifenmuster auf die Oberfläche des Metallbandes 1 projiziert und mit Hilfe einer Matrix-Kamera kontinuierlich erfasst.

Die intrinsische Planheit ip wird vorzugsweise an einem Ort x1 zwischen bzw. nach den Walzgerüsten 3, insbesondere zwischen und/oder nach den Walzgerüsten 3 einer Fertigstraße, berechnet. Die Berechnung erfolgt dabei vorzugsweise mittels eines Materialflussmodells 9 (siehe Figur 1), das vorzugsweise Bestandteil einer Regelungseinheit 11 ist. An einem Ort x2 am Auslauf der Walzstraße, an dem die sichtbare Planheit vp gemessen wird, kann die vom Materialflussmodell 9 berechnete intrinsische Planheit ip unter Zuhilfenahme des Beulmodells 12 mit der gemessenen sichtbaren Planheit vp verglichen werden. Insbesondere bei einem Kaltwalzwerk wäre grundsätzlich

auch eine Messung der intrinsischen Planheit ip am Metallband 1 möglich.

Durch das Beulmodell 12 wird ein eineindeutiger Zusammenhang  
5 zwischen intrinsischer Planheit ip und sichtbarer Planheit vp hergestellt, soweit dies möglich ist. So kann beispielsweise bei einem sehr dicken Metallband 1 mit moderater intrinsischer Unplanheit aus dem Beulverhalten nicht auf die intrinsische Planheit ip geschlossen werden, da ein derartiges Metallband 1 in der Regel nicht beult.  
10

Die Ermittlung der unterschiedlichen Planheiten (ip bzw. vp) erfolgt vorzugsweise in nachfolgender Reihenfolge:

15 1. Die sichtbare Planheit vp, die dem Beulverhalten des Metallbandes 1 entspricht, wird in der Regel nach einem letzten Walzgerüst 3 beispielsweise am Auslauf einer Fertigstraße gemessen.

20 2. Mittels des Beulmodells 12 wird die intrinsische Planheit ip des Metallbandes 1 am Messort der sichtbaren Planheit vp (vgl. Schritt 1.) ermittelt.

25 3. Mittels des Materialflussmodells 9 wird die intrinsische Planheit ip zwischen den Walzgerüsten 3, also beispielsweise innerhalb der Fertigstraße, bestimmt. Die intrinsische Planheit kann so - in Materialflussrichtung gesehen - vor dem physikalischen Messort der Planheit, hier der intrinsischen Planheit, bestimmt werden.

30 Der Zusammenhang zwischen einer intrinsischen Planheit ip zwischen den Walzgerüsten 3 und einer intrinsischen Planheit ip nach dem letzten der Walzgerüste 3 wird über das Materialflussmodell 9 hergestellt. Dem Materialflussmodell 9 können  
35 Eingangsgrößen wie die Banddickenkonturen des Metallbandes 1 sowie Planheitsverläufe bzw. Planheiten vor und nach dem Durchlaufen eines Walzgerüstes 3 zugeführt werden. Das Mate-



rialflussmodell 9 ermittelt online den intrinsischen Planheitsverlauf des Metallbandes 1 nach dem Durchlaufen des Walzgerüsts 3 sowie einen Walzkraftverlauf in Querrichtung y des Metallbandes 1 und führt ihn einem nicht näher dargestellten Walzenverformungsmodell zu. Das nicht näher dargestellte Walzenverformungsmodell ist vorzugsweise Bestandteil einer Regelungseinheit 11. Das Walzenverformungsmodell ermittelt Walzenverformungen und führt sie einem nicht näher dargestellten Sollwertermittler zu, der anhand der ermittelten Walzenverformungen und eines gerüst-auslaufseitigen Konturverlaufs des Metallbandes 1 die Sollwerte für die Profil- und Planheitsstellglieder in jedem einzelnen Walzgerüst 3 ermittelt.

Durch die Verwendung des Beulmodells 12 können das Materialflussmodell 9 und die im Modul 10 implementierte Profil- und Planheitssteuerung (siehe jeweils Figur 1) den Messdaten der sichtbaren Planheit  $v_p$  angepasst werden. Für die sichtbare Planheit  $v_p$  bzw. für die entsprechende sichtbare Bandunplanheit können untere und obere Schranken angegeben werden, die unter Zuhilfenahme des Beulmodells 12 in Schranken für die intrinsische Planheit  $i_p$  bzw. intrinsische Unplanheit übersetzt werden können. Das Beulmodell 12 berechnet aus der intrinsischen Unplanheit das Beulmuster des Metallbandes 1. Aus dem berechneten Beulmuster lässt sich wiederum die sichtbare Unplanheit ermitteln. Für den Umkehrschluss wird eine inverse Modellierung verwendet.

Das Beulmodell 12 basiert vorzugsweise auf der Theorie elastischer Plattenverformungen. Die intrinsische Planheit  $i_p$  wird dadurch modelliert, dass eine fiktive Bandtemperaturverteilung über die Bandbreite, d.h. in Querrichtung y, aufgebracht wird, die zu einer thermischen Ausdehnung in Längsrichtung x des Metallbandes 1 führt, und zwar gleich der zur intrinsischen Planheit  $i_p$  gehörigen Längenverteilung.

Man betrachte nun ein wie in **Figur 5** dargestelltes Bandsegment mit der Länge  $a$ , der Breite  $b$  und der Dicke  $h$ . In der Zeichnung angegeben sind ferner die Längsrichtung  $x$ , Quer-  
richtung  $y$  sowie eine Lotrechte  $z$ . Modelliert wird lediglich  
5 ein Bandsegment mit einer Länge  $a$  von einer halben oder einer ganzen Grundbeullänge, und zwar mit periodischen Randbedingungen an Kopf- und Fußenden des Bandsegments. Die Randbedingungen an den Bandkanten sind die freier Ränder. Die Modellgleichungen sind partielle Differentialgleichungen sowie die  
10 dazugehörigen Randbedingungen, die beispielsweise mittels Finiter-Differenzen-Verfahren oder Finiter-Elemente-Verfahren gelöst werden können.

In Abhängigkeit von der Rechenzeit des Lösungsalgorithmus  
15 kann das Beulmodell 12 unmittelbar online eingesetzt werden. Alternativ kann mittels eines Offline-Modells eine onlinefähige Approximationsfunktion generiert werden, die dann online für das Beulmodell 12 eingesetzt wird.

20 Um die Funktionsweise des Beulmodells 12 besser zu verstehen, muss man zunächst erkennen, dass beispielsweise beim Warmwalzen eines Metallbandes 1 die gemessenen Ablenkungen des Metallbandes 1, die auf das Beulen des Metallbandes 1 zurückzuführen sind, in der Regel eine deutlich größere Größenordnung  
25 aufweisen, als die Banddicke  $h$ . Typischerweise ist ihre Größenordnung jedoch bedeutend geringer als sowohl die typische Wellenlänge des Beulverhaltens wie auch die Bandbreite  $b$ . Während die klassische, lineare Theorie der Plattenverformung nur gilt, wenn die Ablenkungen kleiner gleich ungefähr  $1/5$   
30 der Banddicke  $h$  sind, muss im vorliegenden Fall eine nicht-lineare Beschreibung der Plattenverformungen angewandt werden. Neben den in Figur 5 gezeigten Größen, die das Metallband 1 beschreiben, wird auch auf das Elastizitätsmodul, kurz E-Modul zurückgegriffen, wobei in der Regel von einem kon-  
35 stanten E-Modul ausgegangen wird. Das nicht-lineare Beulverhalten lässt sich nun wie folgt beschreiben:

11

$$(I) \quad \frac{D}{h} \cdot \nabla^4 w(x, y) = \frac{p}{h} + L(w(x, y), \Phi(x, y))$$

Dabei sind in der Bandebene wirkende Kräfte in Form eines Potentials  $\Phi$ , das gemeinhin auch als Airy's Spannungs-

5 ("stress")-Funktion bezeichnet wird, ausgedrückt.

w bezeichnet die vertikale Verschiebung ("displacement") des Metallbandes 1 während p die von außen wirkende Druckverteilung beschreibt, die in der Lotrechten z wirkt. D wird durch nachfolgende Gleichung definiert:

10

$$(II) \quad D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$$

Dabei steht E für das E-Modul und  $\nu$  steht für die Querkontraktionszahl des Metallbandes 1.

15 Außerdem gilt für den Term  $L(w, \Phi)$  aus Gleichung (I):

$$(III) \quad L(w, \Phi) = \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} - 2 \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial y}$$

Macht man nun noch Annahmen hinsichtlich thermisch verursachter innerer Spannungen ("stresses") und Dehnungen

20 ("strains"), so ergibt sich:

(IV)

$$\frac{1}{E} \cdot \nabla^4 \Phi(x, y) + \kappa_x \frac{\partial^2 T(x, y)}{\partial y^2} + \kappa_y \frac{\partial^2 T(x, y)}{\partial x^2} = \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2 - \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = -\frac{1}{2} L(w(x, y), w(x, y))$$

25 Dabei bezeichnet T die Temperatur im Metallband 1 und  $\kappa_x$  bzw.  $\kappa_y$  den Koeffizienten der thermischen Expansion in Längs- bzw. Querrichtung (x bzw. y).

Die Gleichungen (I) und (IV) bilden ein System zweier gekoppelter, nicht-linearer, partieller Differentialgleichungen.  
30 Setzt man nun noch geeignete Randbedingungen ein wie beispielsweise freie Ränder bzw. periodische Randbedingungen an

Kopf- und Fußende eines Bandsegments, so können die Gleichungen (I) und (IV) numerisch in iterativer Weise gelöst werden.

Der Grundgedanke der Erfindung lässt sich wie folgt zusammenfassen:

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Steuervorrichtung zum Betrieb einer Walzstraße für Metallband 1, die mindestens ein Walzgerüst 3 aufweist, wobei die intrinsische Planheit  $ip$  des Metallbandes 1 am Auslauf der Walzstraße ermittelt wird. Um die Einhaltung einer geforderten sichtbaren Planheit  $vp$  des gewalzten Metallbandes 1 innerhalb vorgegebener Schranken zuverlässig und mit hinreichender Genauigkeit zu gewährleisten, wird vorgeschlagen, die sichtbare Planheit  $vp$  bzw. das Beulverhalten des Metallbandes 1 am Auslauf der Walzstraße zu ermitteln bzw. vorzugsweise zu messen und mittels eines Beulmodells 12 in die intrinsische Planheit  $ip$  des Metallbandes 1 zu übersetzen. Die sichtbare Planheit kann so online unter Zuhilfenahme des Beulmodells 12 zu Steuerung der Walzgerüste der Walzstraße verwendet werden. In der gesamten Walzstraße kann die sichtbare Planheit  $vp$  erfindungsgemäß vorzugsweise online unter Zuhilfenahme des Beulmodells 12 besser reguliert werden.

Das Beulmodell 12 ist online-fähig und stellt eine eindeutige Beziehung zwischen der absoluten intrinsischen Planheit  $ip$  des gewalzten Metallbandes 1 und dem tatsächlich gemessenen visuellen Defekten des Metallbandes 1, also der sichtbaren Planheit  $vp$ , her. Erstmals wird die Verifikation, Anpassung und Abstimmung eines auf der intrinsischen Planheit fußenden Materialflussmodells 9 bzw. seiner entsprechenden Profil- und Planheitssteuerung in Bezug auf die tatsächlichen Messwerte ermöglicht.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb einer Walzstraße für Metallband (1),  
die mindestens ein Walzgerüst (3) aufweist, wobei eine sicht-  
5 bare Planheit (vp) des Metallbandes (1) am Auslauf der Walz-  
straße berücksichtigt wird,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass bei der  
Steuerung der Walzgerüste die sichtbare Planheit (vp) und ei-  
ne intrinsische Planheit (ip) des Metallbandes (1) unter Ver-  
10 wendung eines Beulmodells (12) berücksichtigt werden.
2. Verfahren nach Patentanspruch 1,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die  
sichtbare Planheit (vp) in Form eines Beulmusters ermittelt  
15 wird.
3. Verfahren nach Patentanspruch 2,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass das  
Beulmuster dreidimensional ist.  
20
4. Verfahren nach Patentanspruch 2 oder 3,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass zur Er-  
mittlung des Beulmusters neben der relativen Länge einzelner  
Spuren (S1 bis Sn) des Metallbandes (1) mindestens eine der  
25 Größen Wellenlänge, Amplitude und Phasenversatz der einzelnen  
Spuren (S1 bis Sn) ausgewertet wird.
5. Verfahren nach einem der vorstehenden Patentansprüche,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass zur Er-  
mittlung der intrinsischen Planheit (ip) ein Mehrspur-Laser-  
30 Messgerät (13) verwendet wird.
6. Verfahren nach einem der Patentansprüche 1 bis 4,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die  
35 sichtbare Planheit (VP) topometrisch gemessen wird.

7. Verfahren nach einem der vorstehenden Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mittels des Beulmodells (12) Werte für die sichtbare Planheit (vp) in Werte für die intrinsische Planheit (ip) übersetzt werden.

5

8. Verfahren nach einem der vorstehenden Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mittels des Beulmodells (12) Werte für die intrinsische Planheit (ip) in Werte für die sichtbare Planheit (vp) übersetzt werden.

10

9. Verfahren nach Patentanspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Übersetzung der Planheiten (ip bzw. vp) online erfolgt.

15

10. Verfahren nach einem der Patentansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Übersetzung der Planheiten (ip bzw. vp) unter Zuhilfenahme einer online-fähigen Approximationsfunktion erfolgt.

20

11. Verfahren nach einem der vorstehenden Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ausgehend von der intrinsischen Planheit (ip) des Metallbandes (1) dessen Beulmuster mittels des Beulmodells (12) durch Aufbringen einer fiktiven Temperaturverteilung in Querrichtung (y) des Metallbandes (1) ermittelt wird.

25

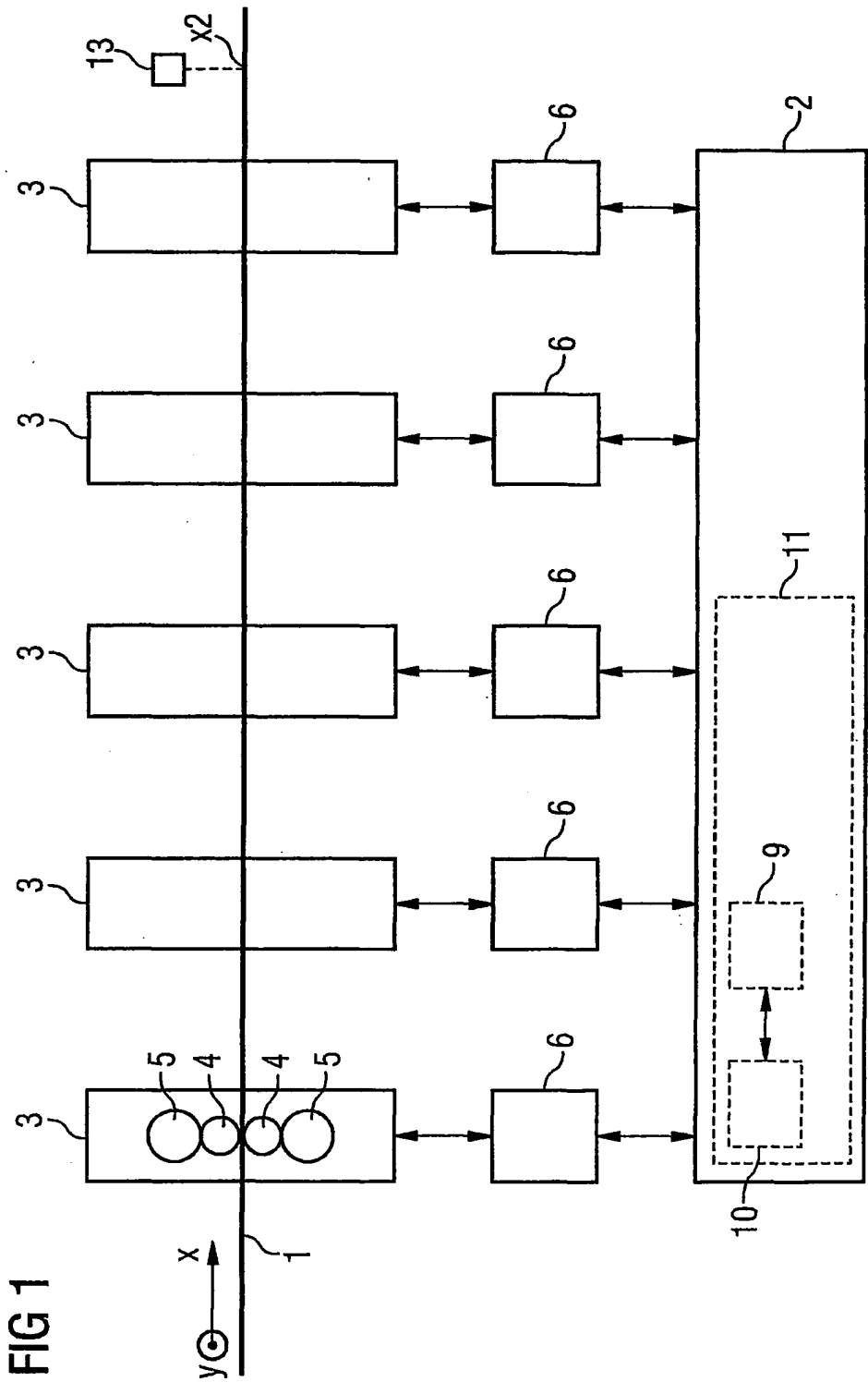
12. Verfahren nach einem der vorstehenden Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mittels eines Materialflussmodells (9) eine intrinsische Planheit (ip) vor einem physikalischen Messort der Planheit bestimmt wird.

30

13. Verfahren nach einem der vorstehenden Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Steuerung der Walzstraße ein oder mehrere Planheitsgrenzwerte an frei wählbaren Punkten vorgegeben werden.

35

14. Steuervorrichtung (2) zum Betrieb einer Walzstraße für Metallband (1) mit mindestens einem Walzgerüst (3), insbesondere nach einem Verfahren gemäß einem der vorstehenden Patentansprüche, wobei die Steuervorrichtung (2) mindestens eine Regelungseinheit (11) aufweist,  
dadurch gekennzeichnet, dass die Regelungseinheit (11) mit einem Beulmodell (12) gekoppelt ist.
- 10 15. Steuervorrichtung (2) nach Patentanspruch 14,  
dadurch gekennzeichnet, dass das Beulmodell (12) mit einer Vorrichtung zum Messen der sichtbaren Planheit (vp) des Metallbandes (1) gekoppelt ist.
- 15 16. Steuervorrichtung (2) nach Patentanspruch 14 oder 15,  
dadurch gekennzeichnet, dass die Steuervorrichtung (2) mindestens ein Materialflussmodell (9) aufweist.
- 20 17. Steuervorrichtung (2) nach einem der Patentansprüche 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung zur Messung der sichtbaren Planheit (vp) ein Mehrspur-Laser-Messgerät (13) ist.
- 25 18. Steuervorrichtung (2) nach einem der Patentansprüche 14 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass das Beulmodell (12) zur Ermittlung eines Beulmusters des Metallbandes (1) mit mindestens einem topometrischen Messsystem gekoppelt ist.





2/3

FIG 2A

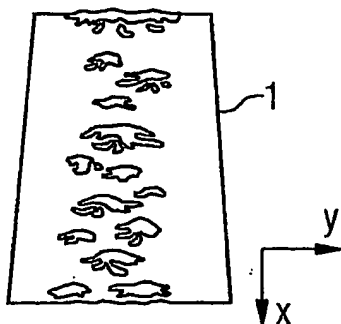


FIG 2B

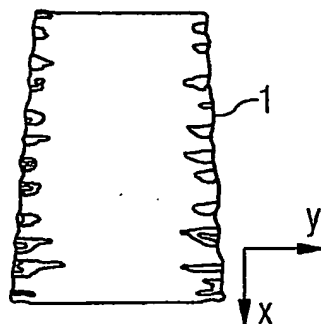


FIG 2C

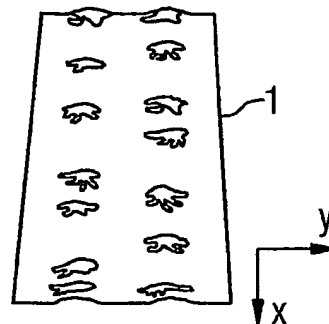


FIG 3

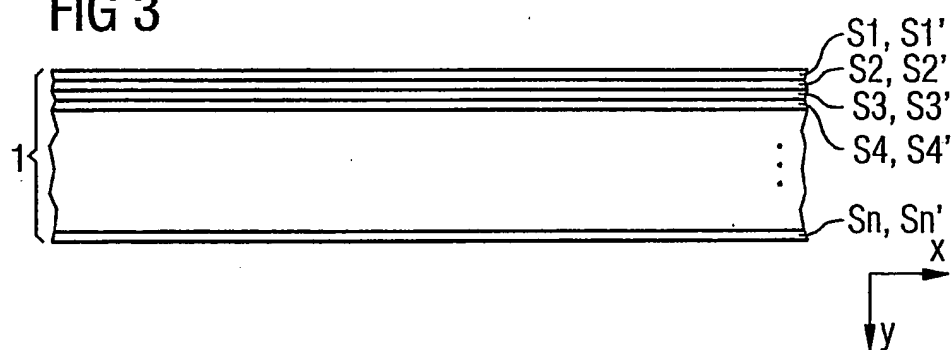


FIG 4

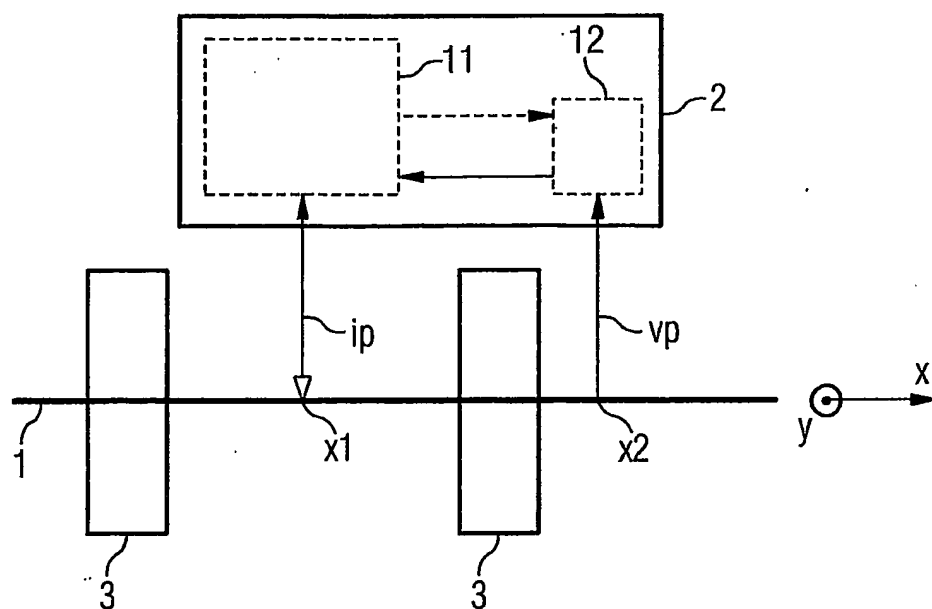


FIG 5

